



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL

**ESTIMATIVA DE IRRIGAÇÃO POR MEIO DE
SENSORIAMENTO REMOTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO SÃO MARCOS**

Raquel Rubstem Sado

MONOGRAFIA

BRASÍLIA
2017



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL

Raquel Rubstem Sado

Orientador: Dr. Morris Scherer-Warren
Coorientador: Prof. Dr. Henrique Llacer Roig

**ESTIMATIVA DE IRRIGAÇÃO POR MEIO DE
SENSORIAMENTO REMOTO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO SÃO MARCOS**

**Monografia de especialização em
Geoprocessamento Ambiental
apresentada a banca examinadora
do Instituto de Geociências como
exigência para a obtenção do título
de especialista em
Geoprocessamento**

Aprovada em 09/12/2016

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Henrique Llacer Roig (coorientador) _____

Prof. Dr. Gervásio Barbosa Soares Neto _____

Dr^a. Luciana Figueiredo Prado _____

Estimativa de irrigação por meio de sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio São Marcos

Resumo: Diante da crescente demanda de água para irrigação e dos constantes eventos de escassez hídrica em vários pontos do globo, faz-se necessário aprimorar as ferramentas de gestão do uso da água. Tendo em vista que a obtenção de dados de campo requer, em muitos casos, uma logística de alto custo, o sensoriamento remoto constitui alternativa para análises de usos consuntivos da água. A partir da utilização de imagens dos satélites Landsat 7 e Landsat 8 e de dados do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission, foi realizada estimativa de volumes de água utilizados por empreendimentos agrícolas na irrigação baseando-se em informações de evapotranspiração e coeficiente de cultura. Os volumes estimados de água utilizada por pivôs centrais na bacia hidrográfica do Alto São Marcos mostraram-se adequados quando comparados com os volumes de retirada de água medidos por hidrômetros ($r = 0,92$). Dessa forma, foi possível obter informações remotas sobre a irrigação que conferem maior suporte para gestão do uso de recursos hídricos. Este estudo pode, portanto, subsidiar o processo de fiscalização de uso da água em áreas irrigadas, tornando-o mais eficiente.

Palavras-chave: recursos hídricos, gestão, evapotranspiração, coeficiente de cultura, NDVI

Estimation of irrigation through remote sensing in the San Marcos river basin

Abstract: Due to the growing demand for water for irrigation and the constant events of water scarcity in several parts of the globe, it is necessary to improve tools of water use management. Considering the high logistic cost to obtain field data in several cases, remote sensing is an alternative for consumptive uses of water analyzes. Using Landsat 7 and Landsat 8 satellites data and Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) satellite

data, it was quantified an estimate of water volumes used by agricultural enterprises in irrigation based on evapotranspiration and crop coefficient information. The estimated volumes of water used by central pivots in the Alto São Marcos basin were adequate when compared to the withdrawal volumes measured by water meters ($r = 0.92$). Thereby it was possible to obtain remotely sensed information about irrigation that gives greater support to water resource management. This study can support the process of water use inspection in irrigated areas, making it more efficient.

Key words: water resources, management, evapotranspiration, crop coefficient, NDVI

INTRODUÇÃO

A agricultura é responsável por cerca de 70% da demanda de água no mundo (Wwap, 2015). Diante da crescente demanda de água para irrigação e dos constantes eventos de escassez hídrica no globo (Lenzen et al., 2013), torna-se cada vez mais necessário aprimorar as ferramentas de gestão do uso da água.

A competição pelo uso da água demanda dos órgãos gestores de recursos hídricos atividades de planejamento, regulação e fiscalização, as quais requerem informações de campo difíceis de serem coletadas em razão da logística e do alto custo operacional.

O sensoriamento remoto configura-se, dessa forma, como alternativa para a estimativa de usos consuntivos da água (Van Eekelen et al., 2015) e como ferramenta com grande potencial para gestão dos recursos hídricos utilizados na agricultura irrigada (Bastiaanssen et al., 2000).

A evapotranspiração e a precipitação constituem os principais componentes do balanço hídrico do solo, o qual permite estimar volumes de água utilizados na irrigação (Allen et al., 1998). Índices de vegetação obtidos de sensores remotos são intimamente relacionados com a evapotranspiração (Glenn et al., 2011) e explicam variações de

coeficientes de cultura (K_c) (Kamble et al., 2013), sendo utilizados em estimativas de consumo de água em áreas naturais e irrigadas (Contreras et al., 2011).

Dados de precipitação estimados pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) apresentaram alta correlação com série de dados de estações pluviométricas na região Centro-Oeste do Brasil (Danelichen et al., 2013).

Neste contexto, foi aplicada uma metodologia de estimativa de uso consuntivo de água na irrigação em escala local, a partir de dados de sensoriamento remoto. Visa-se obter informações que possam subsidiar ações de órgãos gestores de recursos hídricos e que auxiliem o direcionamento de ações de fiscalização dos usos de água.

MATERIAL E MÉTODOS

É proposta, a seguir, uma metodologia para a estimativa de volumes de água utilizados por empreendimentos agrícolas na irrigação.

Área de estudo

Para a realização deste trabalho, foi definida como área de estudo de caso a bacia hidrográfica do Alto São Marcos (Figura 1), por ser esta uma das principais regiões irrigadas para a produção de grãos do país. Ao mesmo tempo, apresenta um intenso conflito pelo uso da água entre o setor da irrigação e o setor de geração de energia elétrica no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica de Batalha.

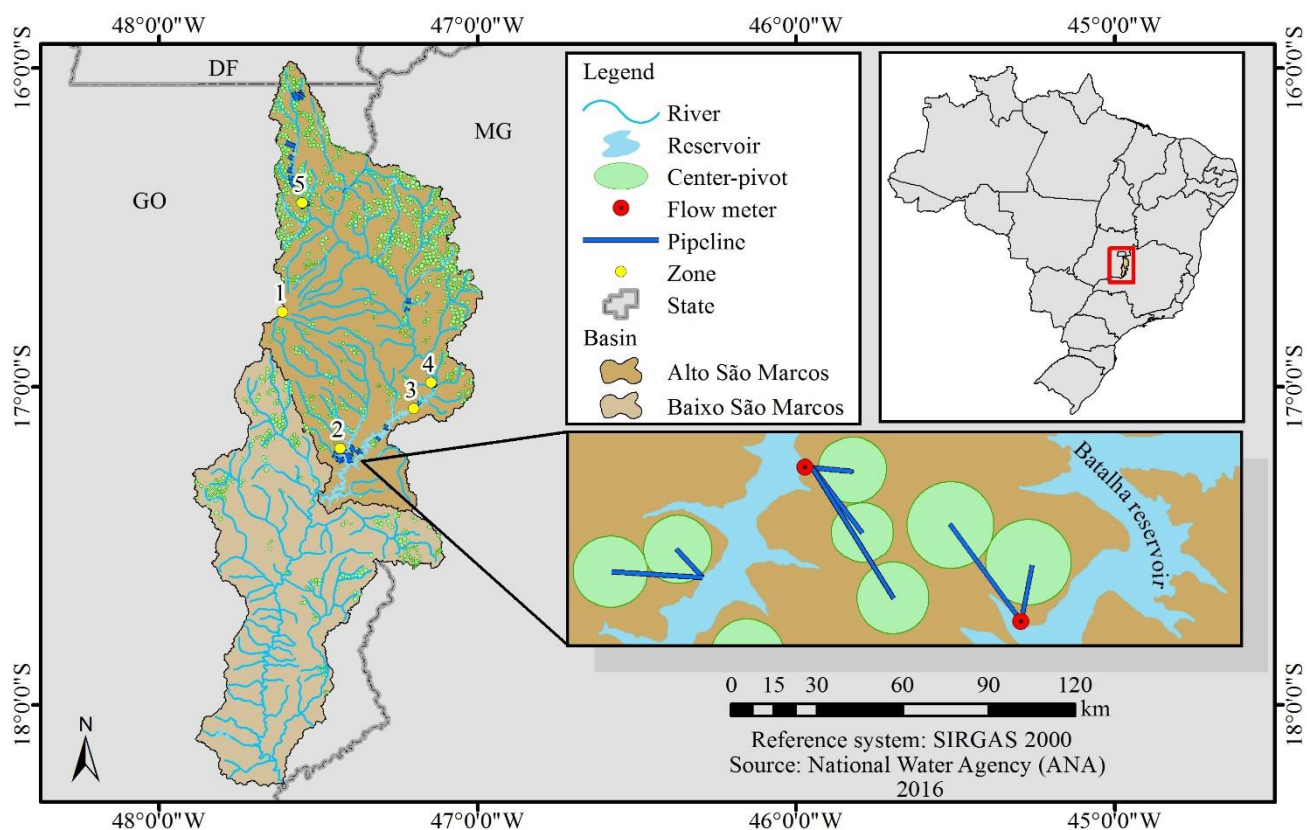


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo - Bacia Hidrográfica do Alto São Marcos. Em destaque, a delimitação de áreas irrigadas por meio de pivô central e a identificação de tubulações adutoras de água com hidrômetro instalado. São indicadas as zonas 1 a 5, para as quais foram coletados dados de precipitação

Medição de volumes de água

Valores de volumes de água utilizados para irrigação foram obtidos por 13 hidrômetros em duas datas: julho de 2015 e maio de 2016. Os hidrômetros estão instalados em tubulações que aduzem água para um total de 25 pivôs centrais pertencentes a diferentes empreendimentos agrícolas.

A fim de verificar a qualidade dos registros obtidos, medições pontuais foram realizadas em 8 dos 13 hidrômetros analisados, as quais foram comparadas com medições de vazão realizadas com equipamento ultrassônico portátil da marca GE modelo

TransPort PT878. Conforme manual do ultrassom, a exatidão da vazão calculada varia de ± 1 a 5%.

Nos casos em que foi realizada a comparação acima, o volume de água registrado pelo hidrômetro, no período em análise, foi calibrado com os dados do ultrassom de acordo com o percentual de variação das vazões calculadas pelos dois equipamentos.

Evapotranspiração (ET) e Coeficiente de cultura (Kc)

Foram obtidos dados de Kc diário para as culturas do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), de maio a agosto de 2015, e da soja (*Glycine max*), de novembro de 2015 a fevereiro de 2016, a partir da Eq. 1 (Allen et al., 1998).

$$ET_{rc} = K_c \times ET_0 \quad (1)$$

Sendo: ET_{rc} - evapotranspiração real da cultura; K_c - coeficiente de cultura; e ET_0 - evapotranspiração de referência.

Os valores diários da ET_{rc} do feijão e da soja foram obtidos pelo método da Razão de Bowen (Bowen, 1926) por meio de experimentos realizados em empreendimentos agrícolas no Distrito Federal, utilizando estações agrometeorológicas instaladas pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Nesses experimentos também foi determinada a ET_0 diária a partir de dados de estações meteorológicas sob responsabilidade do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), utilizando-se a equação de Penman-Monteith, como sugerido pela FAO (Allen et al., 1998).

Área irrigada e NDVI

Foi criado um banco de imagens dos sensores ETM+ do Landsat 7 e sensor OLI do Landsat 8 com valores em refletância de superfície do período de maio de 2015 a maio

de 2016. As imagens foram acessadas no sítio eletrônico do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) em: <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

Os satélites Landsat 7 e 8 possuem período de revisita alternado de 16 dias e resolução espacial de 30 m, o que possibilita o mapeamento de áreas irrigadas sob os pivôs centrais selecionados. Tendo em vista a verificação, nas imagens baixadas, da presença de nuvens nas áreas de implantação dos pivôs centrais do estudo, foi necessário descartar cerca de 48% das imagens, sendo utilizada uma média de 39 imagens para análise de cada pivô central.

A partir do banco de imagens criado foi calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) médio da área cultivada sob as estações agrometeorológicas para o período do experimento realizado com a soja e o feijão. Em seguida, foi realizada uma regressão linear entre esses valores de NDVI e os valores obtidos experimentalmente de K_c das referidas culturas.

Também foi calculado o NDVI da área irrigada sob cada um dos 25 pivôs centrais, tendo sido aplicada interpolação linear a fim de se obter dados diários para o período de julho de 2015 a maio de 2016. A partir da equação gerada pela regressão linear supracitada, foram estimados os valores diários de K_c para os pivôs centrais selecionados, assumindo-se que a equação pode ser aplicada para vários tipos de cultura.

Em campo, verificou-se a existência de áreas sob os pivôs-centrais do estudo cujas culturas não foram irrigadas durante seu ciclo de desenvolvimento. A partir da informação do período de plantio dessas culturas, foi possível contabilizar a evapotranspiração apenas das áreas que foram efetivamente irrigadas.

Precipitação

Os dados de taxa de precipitação diária foram obtidos a partir do produto 3B42 do satélite TRMM, os quais podem ser acessados por meio de uma aplicação web

desenvolvida pela National Aeronautics and Space Administration (NASA) e disponível no sítio eletrônico: <http://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>.

O produto apresenta resolução temporal diária e resolução espacial de 0,25°. Assim, em razão da distribuição dos pivôs centrais analisados, foram definidas quatro zonas de irrigação (zonas 2, 3, 4 e 5) para obtenção dos dados do TRMM, conforme Figura 1. Estes dados foram comparados com dados de precipitação mensal obtidos da estação meteorológica do INMET instalada em Cristalina/GO e localizada na zona 1.

Parte da água precipitada escoar superficialmente e parte pode percolar abaixo do sistema radicular da cultura. Deste modo, torna-se necessário determinar a precipitação efetiva (Dastane, 1978), ou seja, a fração da água precipitada que fica disponível para evapotranspiração na área de cultivo. Para este cálculo, foi utilizado o método de estimativa da precipitação efetiva proposto pelo United States Department of Agriculture/Soil Conservation Service (USDA SCS, Smith, 1992).

Este método requer apenas informação de precipitação mensal e não necessita de calibração local, conforme Eqs. 2 e 3.

$$P_{ef} = \frac{P_m}{125} (125 - 0,2P_m) \quad \text{para } P_m \leq 250 \text{ mm} \quad (2)$$

$$P_{ef} = (125 + 0,1P_m) \quad \text{para } P_m > 250 \text{ mm} \quad (3)$$

Sendo: P_{ef} - precipitação efetiva mensal; P_m - precipitação mensal total.

Eficiência de irrigação

Tendo em vista que perdas no transporte e aplicação da água são frequentes em empreendimentos agrícolas, cabe inferir uma eficiência de irrigação a partir da razão entre a água consumida e a água retirada do corpo hídrico (Jensen, 2007). Jägermeyr et al. (2015), considerando a quantidade de água consumida por quantidade de água aplicada na irrigação, determinaram uma eficiência de irrigação de 80% pelo método de aspersão para a América do Sul.

Evangelista et al., 2010, em estudo realizado em um pivô central no estado de Goiás, obtiveram um valor médio de eficiência de irrigação igual a 89%, correspondente ao produto de três eficiências calculadas: eficiência de distribuição, eficiência de aplicação e eficiência de condução.

No presente estudo, foi considerada uma eficiência de irrigação de 85%, visto que este é o valor de eficiência mínimo aceitável para emissão de outorgas pela ANA (ANA, 2013).

Estimativa de volumes de água retirada

A partir dos dados de Kc calculado a partir do NDVI obtido para os pivôs analisados, foi utilizada a Eq. 1 para estimar os valores de ET_{rc} para o período do estudo, de julho de 2015 a maio de 2016. Em razão da passagem da água do estado líquido para o gasoso, a evapotranspiração torna-se o componente mais difícil de ser medido diretamente (Senay et al., 2016).

Posteriormente foi utilizada a Eq. 4 para determinação do volume de água retirado do corpo hídrico e utilizado por cada um dos 25 pivôs centrais. A estimativa de irrigação baseia-se nos dados de precipitação efetiva, evapotranspiração da cultura, área do cultivo e coeficiente relativo à eficiência da irrigação (Castaño et al., 2010).

$$I_{\text{período}} = \left(\sum_{i=m}^n ET_{rc,i} - \sum_{i=m}^n P_{ef,i} \right) A/E_i \quad (4)$$

Sendo: I_{período} - volume de água aduzido para irrigação para o período; ET_{rc,i} - evapotranspiração real da cultura diária; P_{ef,i} - precipitação efetiva mensal; A - área irrigada sob pivô central; E_i - eficiência de irrigação.

Os volumes de irrigação estimados foram, por fim, comparados com os volumes de irrigação medidos pelos hidrômetros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com relação aos dados de precipitação obtidos, verifica-se que as estimativas mensais de precipitação do satélite TRMM apresentaram grande correspondência com os dados da estação meteorológica (Figura 2).

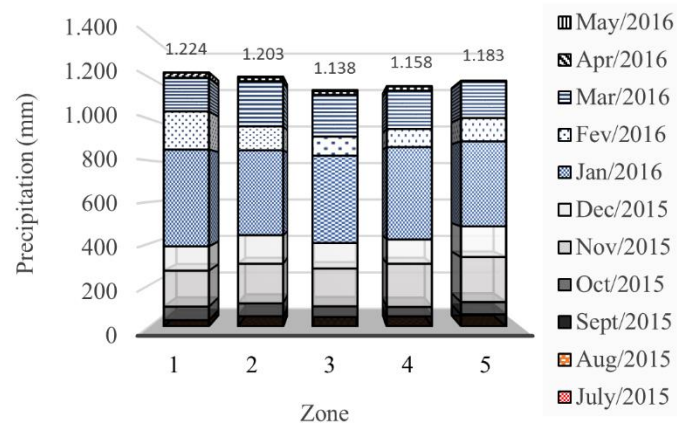


Figura 2. Comparação entre as médias mensais de precipitação obtidas por meio de estação meteorológica (zona 1), e estimadas pelo TRMM para quatro zonas de irrigação correspondentes às áreas de implantação dos pivôs centrais analisados (zonas 2, 3, 4 e 5)

A partir da regressão linear realizada entre o K_c obtido experimentalmente em campo e o NDVI obtido das imagens de satélite (Figura 3), foi determinada a Eq. 5.

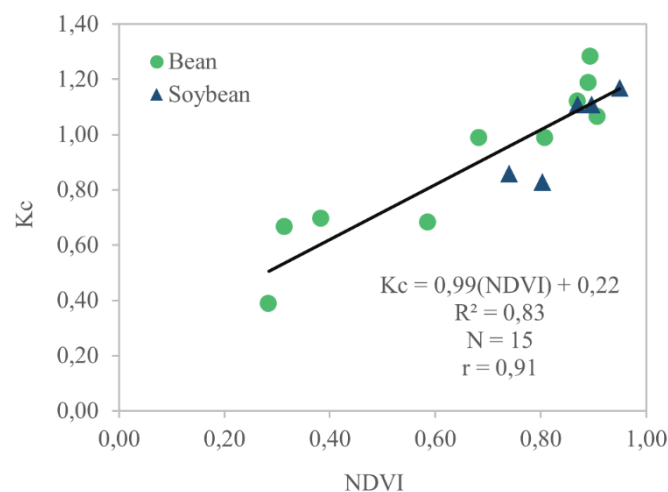


Figura 3. Gráfico de dispersão entre K_c obtido em campo e o NDVI obtido por sensoriamento remoto

$$Kc = 0,99(NDVI) + 0,22 \quad (5)$$

Sendo: Kc - coeficiente de cultura; NDVI - Normalized Difference Vegetation Index.

Foi observada correlação muito forte entre as variáveis ($r = 0,91$), demonstrando que o NDVI possui potencial para fornecer dados regionalizados de Kc. Este é um dado importante a ser obtido no manejo da irrigação, uma vez que os valores de Kc podem ser diferentes de uma região para outra (Piccinni et al., 2009).

Por meio da Eq. 4, foram então estimados os volumes de água utilizados na irrigação pelos pivôs centrais do estudo. O produto da metodologia empregada é representado na Figura 4.

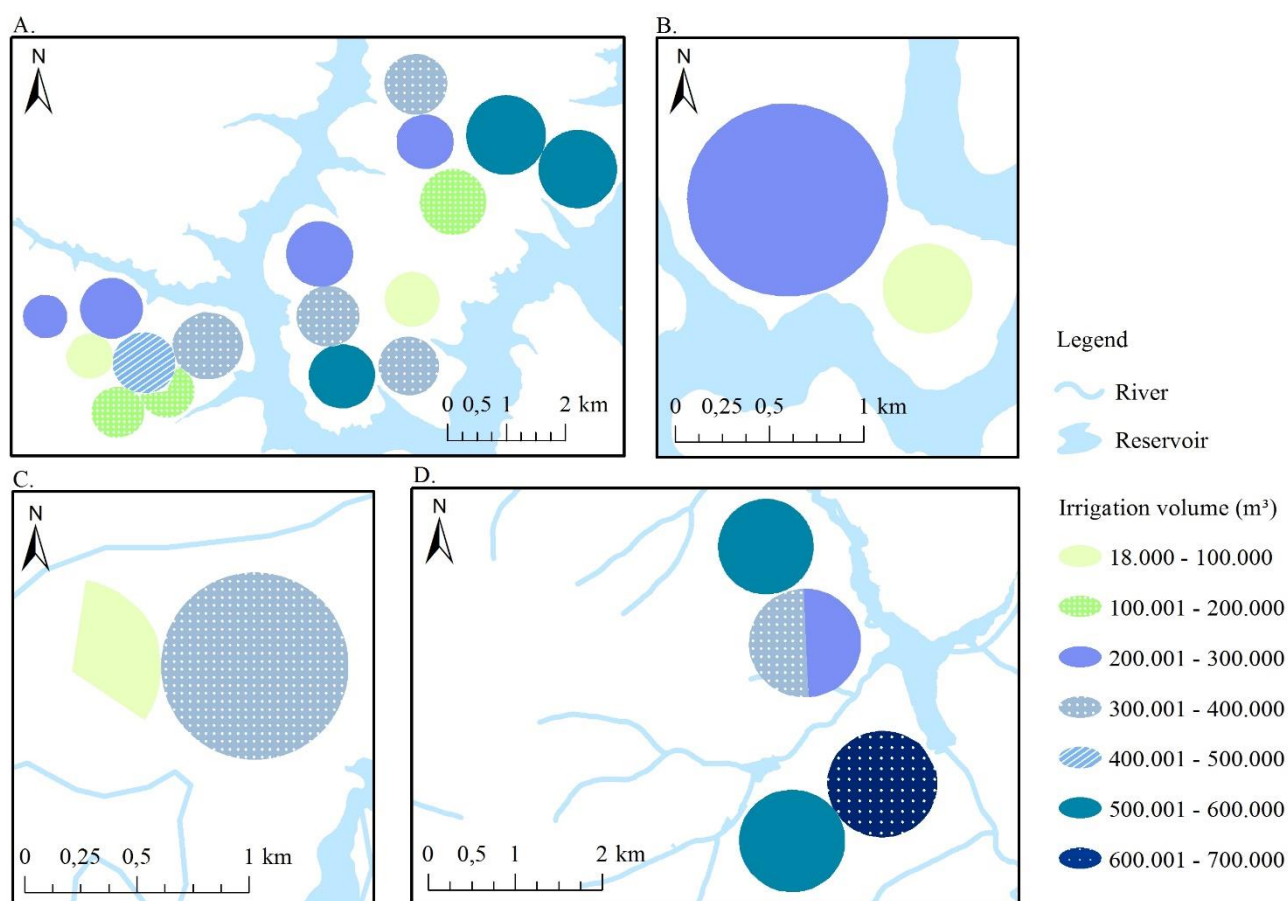


Figura 4. Estimativa de volumes totais de água utilizados na irrigação por meio dos pivôs centrais analisados nas zonas 2 (A), 3 (B), 4 (C) e 5 (D), de julho de 2015 a maio de 2016, na Bacia Hidrográfica do Alto São Marcos

Os volumes estimados foram comparados com os dados obtidos pelos hidrômetros, conforme Figura 5. Verifica-se que o volume estimado de água usada na irrigação foi adequado em relação aos dados de campo.

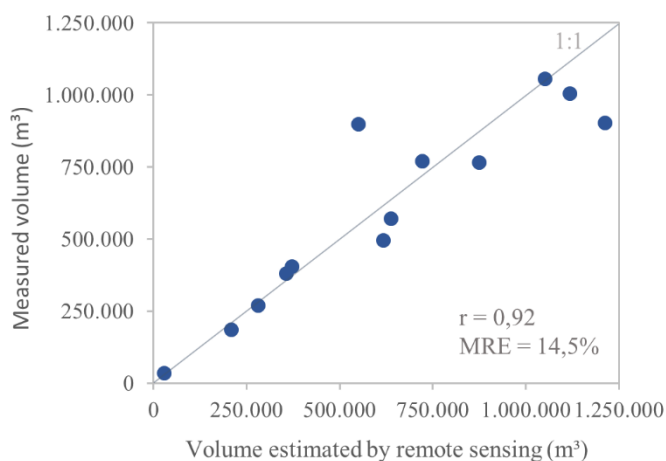


Figura 5. Comparação entre os volumes de água usados na irrigação estimados por sensoriamento remoto e medidos pelos hidrômetros

Além da alta correlação, o erro relativo médio (MRE) foi de 14,5%, apesar das várias fontes de erro prováveis devido ao número de variáveis envolvidas na estimativa.

Uma das fontes de erro refere-se à leitura realizada pelos hidrômetros, uma vez que muitos desses não são adequadamente calibrados. Na comparação realizada com dados de 8 hidrômetros do estudo, houve variação de vazão até 24% inferior e até 31% superior ($MRE = 13\%$) em relação aos dados do equipamento ultrassônico.

Além da variação da medição, caso o equipamento tenha deixado de funcionar em determinado momento, as estimativas dos volumes de água utilizados obtidas a partir de sensoriamento remoto serão apresentadas como superestimadas. Também haverá superestimação nos casos em que a cultura sob o pivô central não for irrigada durante seu ciclo de desenvolvimento, motivo pelo qual essa informação foi obtida em campo.

Observou-se que há casos em que apenas parcela da área sob o pivô central está sendo cultivada, ou há cultivos diferentes sendo irrigados. Nesses casos, não é adequado utilizar

o valor de NDVI médio da área demarcada pelo pivô, devendo as parcelas serem analisadas separadamente.

Com relação à precipitação, segundo Pongpinyopap & Mungcharoen (2012), os valores de precipitação efetiva mensal tendem a ser subestimados pelo método proposto pela USDA SCS.

A eficiência de irrigação, por sua vez, é de difícil validação devido às dificuldades de sua mensuração no campo e às discrepâncias de terminologia (Lankford, 2012). A maioria das estimativas é baseada em informações não refinadas para grandes regiões ou países (Jägermeyr et al., 2015).

Foi utilizada uma grande quantidade de imagens neste estudo, tendo sido realizada a análise visual da presença de nuvens sobre as áreas a serem avaliadas. No entanto há, para esse fim, o potencial de utilização de algoritmos de detecção de nuvens e áreas sombreadas por estas (Zhu et al., 2015), automatizando o processo.

O delineamento do esforço amostral está relacionado à logística dispendiosa para coleta de dados de campo. Ademais, a quantidade de água retirada dos corpos hídricos não é medida em grande parte dos empreendimentos agrícolas, o que dificulta a análise de cumprimento das cotas de uso permitidas.

Apesar disso, a metodologia utilizada apresenta-se como uma alternativa para a obtenção de informações de uso consuntivo de água para irrigação, que não demanda a quantificação de complexos processos hidrológicos. Essas informações podem auxiliar no direcionamento de atividades de fiscalização através da comparação dos volumes de água utilizados estimados com os volumes de água outorgados.

CONCLUSÕES

1. A metodologia proposta permite estimar o uso de água para irrigação por empreendimentos agrícolas, tendo sido verificada alta correlação entre os volumes de água estimados por sensoriamento remoto e os volumes medidos por hidrômetros ($r = 0,92$).
2. Ainda que alguns dados de campo forneçam informações para uma estimativa de irrigação mais adequada, esses não são essenciais para a aplicação da metodologia que, portanto, torna-se uma alternativa sem a necessidade de intensivos trabalhos de campo que requerem uma logística de altos custos.

LITERATURA CITADA

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome: FAO, 1998. 300p. Irrigation and Drainage Paper, 56.
- ANA – Agência Nacional de Águas (Brasil). Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas. Brasília: 2013, 249 p.
- Bastiaanssen, W. G. M.; Molden, D. J.; Makin, I. W. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. *Agricultural Water Management*, v. 46, p.137–155, 2000.
- Bowen, S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical Review*, v. 27, p.779-787, 1926.
- Castaño, S.; Sanz, D.; Gómez-Alday, J. J. Methodology for quantifying groundwater abstractions for agriculture via remote sensing and GIS. *Water Resources Management*, v. 24, p.795-814, 2010.

- Contreras, S.; Jobbágy, E. G.; Villagra, P. E.; Nosetto, M. D.; Puigdefábregas, J. Remote sensing estimates of supplementary water consumption by arid ecosystems of central Argentina. *Journal of Hydrology*, v.397, p.10-22, 2011.
- Danelichen, V. H. M; Machado, N. G.; Souza, M. C.; Biudes, M. S. TRMM satellite performance in estimating rainfall over the midwest region of Brazil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v.12, p.22-31, 2013.
- Dastane, N. G. Effective rainfall in irrigated agriculture. Rome: FAO, 1978. 67p. Irrigation and Drainage Paper, 25.
- Evangelista, W.; Oliveira, C. A. S.; Silva, C. L. Variáveis climáticas e o desempenho de um pivô central, em Cristalina Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.246–252, 2010.
- Glenn, E. P.; Neale, C. M. U.; Hunsaker, D. J.; Nagler, P. L. Vegetation index-based crop coefficients to estimate evapotranspiration by remote sensing in agricultural and natural ecosystems. *Hydrological Processes*, v.25, p.4050–4062, 2011.
- Jägermeyr, J; Gerten, D; Heinke, J; S. Schaphoff, Kumm, M; Lucht, W. Water savings potentials of irrigation systems: global simulation of processes and linkages. *Hydrology and Earth System Sciences*, v.19, p.3073-3091, 2015.
- Jensen, M. E. Beyond irrigation efficiency. *Irrigation Science*, v. 25, p.233-245, 2007.
- Kamble, B.; Kilic, A.; Hubbard, K. Estimating crop coefficients using remote sensing-based vegetation index. *Remote Sensing*, v.5, p.1588-1602, 2013.
- Lankford, B. Fictions, fractions, factorials and fractures; on the framing of irrigation efficiency. *Agricultural Water Management*, v.108, p.27-38, 2012.
- Lenzen, M.; Moran, D.; Bhaduri, A.; Kanemoto, K.; Bekchanov, M.; Geschke, A.; Foran, B. International trade of scarce water. *Ecological Economics*, v.94, p.78-85, 2013.

- Piccinni, G.; Ko, J.; Marek, T.; Howell, T. Determination of growth-stage-specific crop coefficients (K_c) of maize and sorghum. *Agricultural Water Management*, v.96, p.1698-1704, 2009.
- Pongpinyopap, S.; Mungcharoen T. Comparative study of green water footprint estimation methods for Thailand: A case study of cassava-based ethanol. *Environment and Natural Resources Journal*, v.10, p.66-72, 2012.
- Senay, G. B.; Friedrichs, M.; Singh, R. K.; Velpuri, N. M. Evaluating Landsat 8 evapotranspiration for water use mapping in the Colorado River Basin. *Remote Sensing of Environment*, v.185, p.171-185, 2016.
- Smith, M. CROPWAT - A computer program for irrigation planning and management. Rome: FAO, 1992.126p. Irrigation and Drainage Paper 46.
- Van Eekelen, M. W.; Bastiaanssen, W. G. M.; Jarmain, C.; Jackson, B.; Ferreira, F.; van der Zaag, P.; Saraiva Okello, A.; Bosch, J.; Dye, P.; Bastidas-Obando, E.; Dost, R. J. J.; Luxemburg, W. M. J. A novel approach to estimate direct and indirect water withdrawals from satellite measurements: A case study from the Incomati basin. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v.200, p.126–142, 2015.
- WWAP (United Nations World Water Assessment Programme). The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World. Paris: UNESCO, 2015. 139p.
- Zhu, Z.; Wang, S.; Woodcock, C. E. Improvement and expansion of the Fmask algorithm: Cloud, cloud shadow, and snowdetection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images. *Remote Sensing of Environment*, v. 159, p.269–277, 2015.